



Original Article

Daylight Performance of Louvred Shading on Atrium Skylight in Exhibition Gallery

Prestasi Pencahayaan Siang bagi Teduhan Berjalur pada Atrium Bumbung Kaca di dalam Galeri Pameran



Desmand Hii Jing Chao¹, Christopher Heng Yii¹ , Nooriati Taib¹, Gabriel Ling Hoh Teck², Lim Jing Jing³

¹ School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia, 11800 Penang, Malaysia

² Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

³ Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

* Correspondence email: chrisheng@usm.my

Abstract

Daylighting is often underutilized in regions characterized by tropical climates. In Malaysia, architectural designs frequently incorporate enclosed walls and facades to minimize solar heat gain. However, this approach limits the penetration of natural daylight into deeper interior spaces. As a result, larger and deeper spaces, such as exhibition galleries, often rely on artificial lighting to achieve adequate illumination, thereby increasing the building's overall energy demand. To mitigate the reliance on artificial lighting, this study aims to identify and evaluate the effectiveness of vertical and horizontal louvred shading systems applied to an exhibition gallery's atrium skylight within a tropical climate context. Both vertical and horizontal louvred shading configurations were analysed using the VELUX Daylight Visualizer simulation software. The Phase 1 simulation results indicate that the vertical louvred Type D (D = 600 mm, L = 300 mm) and horizontal louvred Type 3 (D = 150 mm, L = 450 mm) configurations demonstrated superior daylight performance when applied independently to the atrium skylight. In contrast, the Phase 2 simulation revealed that combining both louvred shading systems significantly enhances daylight performance. The integrated Type D2 configuration—comprising vertical louvred Type D (D = 600 mm, L = 300 mm) and horizontal louvred Type 2 (D = 150 mm, L = 300 mm)—achieved the most optimal daylight distribution for the atrium skylight in the exhibition gallery compared to other design configurations.

Article Info

Received 17 December 2024

Received in revised form 16 March 2025

Accepted 18 April 2025

Available online 18 May 2025

Keywords

Daylighting
Atrium Skylight
Tropical Climate
Shading Device
Exhibition Gallery
Pencahayaan Siang
Bumbung Kaca Atrium
Iklim Tropika
Alat Teduhan
Galeri Pameran

Abstrak

Pencahayaan semula jadi sering kurang dimanfaatkan di kawasan yang beriklim tropika. Di Malaysia, reka bentuk seni bina sering menggabungkan dinding dan mukaan tertutup untuk meminimumkan kenaikan haba solar. Walau bagaimanapun, pendekatan ini mengehadkan penembusan cahaya semula jadi ke ruang dalaman yang lebih dalam. Akibatnya, ruang yang lebih besar dan dalam seperti galeri pameran sering bergantung pada pencahayaan tiruan untuk mencapai tahap pencahayaan yang mencukupi, sekali gus meningkatkan permintaan tenaga keseluruhan bangunan. Bagi mengurangkan kebergantungan terhadap pencahayaan tiruan, kajian ini bertujuan untuk mengenal pasti dan menilai keberkesanan sistem teduhan berjalur menegak dan mendatar yang digunakan pada atrium bumbung kaca galeri pameran dalam konteks iklim tropika. Kedua-dua konfigurasi teduhan berjalur menegak dan mendatar telah dianalisis menggunakan perisian simulasi VELUX Daylight Visualizer. Keputusan simulasi Fasa 1 menunjukkan bahawa konfigurasi teduhan berjalur menegak Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) dan teduhan berjalur mendatar Jenis 3 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 450 \text{ mm}$) memberikan prestasi pencahayaan semula jadi yang lebih baik apabila digunakan secara berasingan pada atrium bumbung kaca. Sebaliknya, simulasi Fasa 2 menunjukkan bahawa gabungan kedua-dua sistem teduhan berjalur dapat meningkatkan prestasi pencahayaan semula jadi dengan ketara. Konfigurasi gabungan Jenis D2—terdiri daripada jalur menegak Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) dan jalur mendatar Jenis 2 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$)—mencapai taburan pencahayaan semula jadi yang paling optimum untuk atrium bumbung kaca di galeri pameran berbanding dengan konfigurasi reka bentuk yang lain.

Copyright © 2025 KARYA ILMU PUBLISHING - All rights reserved

1. Pengenalan

Kajian empirikal menunjukkan bahawa sektor bangunan menyumbang lebih daripada 40% penggunaan tenaga global [1,2]. Kajian mengenai penggunaan tenaga dalam bangunan komersial di Asia Tenggara mendapati bahawa Malaysia mencatatkan penggunaan tenaga sekitar $269 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$, menjadikannya antara negara yang menggunakan paling banyak tenaga di rantau ini [3]. Disebabkan iklim panas dan lembap, kebanyakan bangunan di Malaysia direka dengan mukaan tertutup serta bukaan yang minimum untuk mengurangkan pemindahan haba ke dalam bangunan [4]. Namun ruang dalaman dengan pelan yang dalam seperti dewan pameran dan galeri menghadapi cabaran keterbatasan kemasukan cahaya semula jadi yang menyebabkan pergantungan yang tinggi pada pencahayaan buatan dan seterusnya meningkatkan penggunaan tenaga. Gabungan pencahayaan semula jadi melalui atrium bumbung kaca merupakan strategi yang berkesan untuk menerangi ruang dalaman yang lebih dalam serta mengurangkan kebergantungan pada pencahayaan buatan.

Beberapa galeri pameran di Malaysia termasuk Muzium Bank Negara Malaysia, Muzium Negara Malaysia, Galeri Seni Sabah dan Muzium Kesenian Islam Malaysia telah menggabungkan strategi pencahayaan semula jadi bagi menambah baik pengalaman pengunjung. Sebagai contoh, Muzium Kesenian Islam Malaysia mempunyai dua galeri pameran yang boleh disewa, masing-masing berukuran 24 meter panjang dan 24 meter lebar. Matlamat utama galeri pameran bukan sahaja untuk menyediakan rangka kerja yang optimum bagi mempamerkan karya seni, malah untuk mewujudkan suasana ruang yang dapat menambah baik pengalaman pengunjung. Pencahayaan semula jadi memainkan peranan penting dalam membentuk pengalaman ini dengan mewujudkan persekitaran yang lebih menarik dan selesa. Kajian menunjukkan bahawa ruang yang terang lebih berkesan dalam meningkatkan tahap kesedaran dan umumnya lebih disukai berbanding dengan ruang yang gelap dan suram [5]. Selain itu, pencahayaan semula jadi dikaitkan dengan suasana yang lebih baik, semangat yang lebih tinggi, dan keletihan serta ketegangan mata berkurangan [6]. Dalam konteks galeri pameran, gabungan

pencahayaan semula jadi bukan sahaja menjadikan visual karya seni lebih kelas, malah mengoptimalkan impak emosi dan psikologi terhadap penghuni ruang tersebut.

Atrium memainkan peranan penting dalam reka bentuk seni bina kontemporari dan bertindak sebagai elemen utama yang meningkatkan kualiti ruang dan kemasukan cahaya semula jadi. Namun kewujudan jendela langit dalam atrium boleh menyebabkan keadaan yang tidak diinginkan seperti silau dan pemindahan haba suria yang berlebihan yang boleh dikurangkan melalui strategi teduhan pencahayaan yang berkesan. Walaupun penggunaan jendela langit berskala besar dapat meningkatkan tahap pencahayaan dalaman, hal ini juga menyumbang kepada peningkatan penggunaan tenaga bagi sistem pemanasan dan penyejukan akibat terdedah kepada persekitaran luar. Walau bagaimanapun, bagi memastikan keselesaan visual dan mengelakkan silau berlebihan, atrium bumbung kaca perlu mengandungi elemen teduhan berjalur. Peningkatan prestasi pencahayaan semula jadi dalam ruang ini berpotensi menggalakkan keterlibatan penghuni dalam jangka masa yang lebih lama, meningkatkan penggunaan ruang dan mungkin mempengaruhi interaksi sosial dalam bangunan.

Di Malaysia, peranti teduhan berjalur digunakan secara meluas untuk mengurangkan pemindahan haba suria secara langsung melalui bukaan, tingkap dan permukaan berkaca yang luas. Strategi ini merupakan elemen penting dalam reka bentuk pasif kerana strategi ini berkesan mengawal radiasi suria dan silau. Selain itu, teduhan berjalur boleh diterapkan pada bumbung atau atrium bumbung kaca bagi melindungi ruang dalaman daripada terdedah secara berlebihan kepada cahaya matahari. Ruang dalaman seperti galeri dan dewan pameran memerlukan pencahayaan semula jadi yang mencukupi bagi mengurangkan kebergantungan pada pencahayaan buatan pada waktu siang. Kajian terdahulu telah menekankan kepentingan pencahayaan semula jadi sebagai faktor utama yang mempengaruhi persepsi dan penerimaan ruang oleh penghuni [7]. Bagi mencapai keseimbangan optimum pencahayaan semula jadi dalam ruang dalaman terutamanya dalam iklim tropika, penggunaan teduhan berjalur pada jendela langit bumbung atrium bagi mengawal tahap penembusan cahaya yang tinggi adalah penting [8].

Kajian literatur telah dilakukan secara komprehensif dengan mencari dan menyusun kajian yang berkaitan. Proses pemilihan menggunakan kata kunci khusus termasuk teduhan berjalur, peranti teduhan menegak dan mendatar, prestasi visual, prestasi pencahayaan siang dan kawalan silau bagi mengenal pasti penyelidikan yang relevan. [Jadual 1](#) menyajikan ringkasan sintesis kajian utama yang membincangkan strategi pelaksanaan teduhan berjalur dalam mengoptimalkan prestasi pencahayaan siang.

Melalui analisis kritikal terhadap kajian terdahulu, didapati bahawa prestasi pencahayaan siang bagi peranti teduhan berjalur dipengaruhi oleh beberapa parameter reka bentuk. Penemuan ini membentuk asas metodologi dalam menganalisis simulasi berjalur atrium dengan memberi tumpuan pada pemboleh ubah utama iaitu jarak antara slat berjalur (D) yang secara langsung mempengaruhi kadar penembusan cahaya siang dan keberkesanan teduhan dan juga panjang slat berjalur (L) yang mengawal kuantiti serta penyebaran cahaya siang dalam ruang dalaman.

Kajian ini bertujuan untuk menilai prestasi pencahayaan semula jadi bagi kegunaan bumbung kanopi berjalur dalam persekitaran pembelajaran luar. Secara khusus, kajian ini meneliti potensi dan keterbatasan penggunaan teduhan berjalur menegak dan mendatar pada atrium bumbung kaca dalam konteks prestasi pencahayaan semula jadi. Selain itu, kajian ini berusaha mengenal pasti dan menilai konfigurasi reka bentuk pasif bagi kedua-dua sistem teduhan berjalur menegak dan mendatar pada atrium bumbung kaca di galeri pameran dalam iklim tropika.

Jadual 1: Ringkasan kajian literatur dan penemuan utama.

Pengarang	Tahun	Tajuk	Penemuan
Datta	2015	Kesan Peranti Teduhan Berjalur Mendatar Tetap terhadap Prestasi Termal Bangunan: Kajian Simulasi TRNSYS	Mengkaji pengaruh konfigurasi reka bentuk berjalur termasuk: (1) panjang slat, (2) jarak antara slat dan (3) sudut kecenderungan berjalur. Hasil kajian menunjukkan bahawa prestasi teduhan dipengaruhi secara signifikan oleh lokasi pemasangan dan keadaan cuaca [9].
Kim dan Kim	2015	Peranti Teduhan Luaran Lanjutan untuk Mengoptimumkan Prestasi Visual dan Pandangan	Menyimpulkan bahawa peranti teduhan luaran lebih berkesan dalam modulasi pencahayaan siang berbanding dengan peranti teduhan dalaman [10].
Lee et al.	2015	Kajian Konfigurasi Peranti Teduhan terhadap Kecekapan Pengudaraan Semula Jadi dan Prestasi Tenaga pada Fasad Kulit Berganda	Mendapati bahawa peranti teduhan mendatar lebih cekap tenaga berbanding dengan peranti teduhan menegak [11].
Mahdavinejad dan Mohammadi	2016	Sintesis dan Pengoptimuman Mekanisme Penggerak Berjalur untuk Sistem Pencahayaan Siang Inovatif dalam Bangunan Berpelan Dalam	Menunjukkan bahawa penggerak berjalur tetap dengan sudut kecenderungan 45° dan jarak 13cm antara slat mencapai prestasi pencahayaan siang yang optimum [12].
Hernández et al.	2017	Kesan Peranti Teduhan Berjalur terhadap Keselesaan Visual dan Permintaan Tenaga di Bangunan Pejabat	Menekankan kepentingan peranti teduhan dalam memastikan keselesaan terma dan visual. Penulis mencadangkan kajian masa depan mengenai kawalan automatik berjalur yang diselaraskan dengan langkah simulasi [13].
Almutairi et al.	2022	Model Optimum Kanopi Mendatar dalam Mengurangkan Penggunaan Tenaga Bangunan	Hasil kajian menunjukkan bahawa kanopi mendatar beroperasi dengan kecekapan tinggi semasa musim panas. Penulis mencadangkan pembinaan kanopi boleh alih yang boleh diguna semula dalam ruang separa terbuka bagi meningkatkan kawalan teduhan, keselesaan visual dan keseimbangan terma [14].
De Luca et al.	2022	Pengoptimuman Pelbagai Prestasi Peranti Teduhan Statik bagi Kawalan Silau, Pencahayaan Siang, Pandangan, dan Pertimbangan Tenaga	Kajian mendapati bahawa peranti teduhan statik dapat mengurangkan ketidakselesaan visual sehingga 89.8%, menurunkan permintaan tenaga primer sebanyak 29.1% serta menyediakan pencahayaan siang yang mencukupi dan pandangan luar yang baik [15].
Xue & Liu	2023	Kajian Pengoptimuman Prestasi Pencahayaan Siang Atrium dan Tenaga Melalui Reka Bentuk Skylight dan Teduhan di Bangunan Komersial	Memberikan panduan penting dalam mengoptimumkan strategi pencahayaan siang atrium komersial yang boleh dijadikan rujukan bagi reka bentuk masa hadapan [16].

2. Metodologi

2.1. Kaedah Dan Prosedur Simulasi

VELUX Daylight Visualizer Versi 3.0.89 digunakan dalam kajian ini kerana perisian simulasi ini telah terbukti mampu menganggar prestasi pencahayaan semula jadi dengan tepat pada fasa reka bentuk bangunan serta menggambarkan kesan pelbagai pilihan reka bentuk terhadap pencahayaan semula jadi. Pelbagai variasi model teduhan berjalur dicadangkan dengan formula nisbah D/L. Geolokasi tapak (1.584021, 110.335759) untuk menjalankan kajian simulasi ini telah ditetapkan. Beberapa kajian terdahulu telah menguji dan mengesahkan ketepatan perisian VELUX [17,18]. Proses simulasi ini dilaksanakan dalam dua fasa seperti yang digambarkan dalam [Jadual 2](#).

Jadual 2: Carta alir metodologi.

Fasa 1	Tetapan Persekitaran Penyediaan unit skala, tetapan nilai untuk sifat permukaan, lokasi, pengezonan simulasi dan spesifikasi pemaparan dalam Perisian Velux.
	Variasi Modal Penentuan 6 jenis variasi model daripada bingkai jalur menegak dan mendatar menggunakan nisbah D/L dan untuk dikaji melalui Faktor Cahaya Siang (DF).
	Penilaian Cahaya Siang Penilaian hasil DF terbaik daripada setiap jalur menegak dan mendatar dengan menentukan peratusan tertinggi DF dalam julat 1.0 – 3.5.
Fasa 2	Konfigurasi Variasi Penghasilan kebarangkalian variasi dengan menggabungkan kedua-dua variasi model menegak dan mendatar. Sebanyak 36 jenis variasi model dijana untuk menjalankan simulasi pencahayaan siang.
	Simulasi Faktor Cahaya Siang Variasi model dijalankan dengan simulasi DF dan peratusan julat kurang daripada 1, antara 1.0 - 3.5 dan lebih daripada 3.5 akan direkodkan.
	Analisa Keputusan Hasil kuantitatif akan dijadualkan dan dibandingkan. Julat peratusan tertinggi DF antara 1.0 - 3.5 akan direkodkan

Pengguna perisian VELUX Daylight Visualizer perlu menetapkan nilai parameter seperti lokasi, pantulan permukaan, transmisi penyebaran cahaya dan kekasaran permukaan semasa simulasi seperti yang ditunjukkan dalam [Jadual 3](#) dan [4](#).

Jadual 3: Tetapan lokasi dan jenis paparan dalam simulasi VELUX.

Lokasi	Longitud	Latitud	Jenis Paparan
Malaysia	110.335759	1.584021	Faktor Cahaya Siang

Jadual 4: Tetapan nilai permukaan dalam simulasi VELUX.

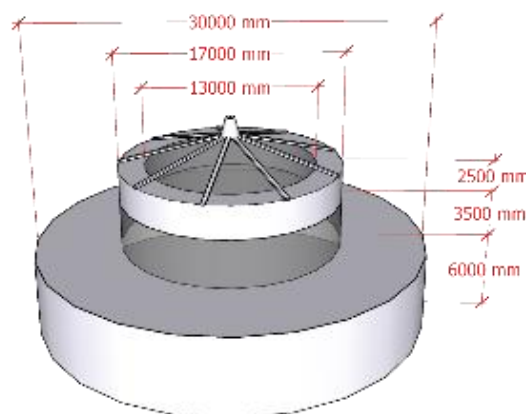
Komponen	Pantulan (%)	Transmisi Penyebaran Cahaya (%)	Kekasaran Permukaan (%)
Dinding Dalam dan Siling	60	0	0.03
Lantai	40	0	0.03
Teduhan Berjalur	40	0	0.03
Bahan Penyebar Mukaan	-	30	-

2.2. Reka Bentuk Model & Pengiraan Variasi

Galeri pameran dengan diameter 30 meter dan ketinggian 6 meter seperti yang ditunjukkan dalam [Rajah 1](#) direka bentuk menggunakan perisian SketchUp sebagai model asas. Reka bentuk model asas ini disesuaikan berdasarkan bangunan kajian kes iaitu Sabah Art Gallery. Model asas kemudiannya diimport ke dalam perisian VELUX untuk kajian simulasi. Kumpulan WIS telah membangunkan nisbah D/L yang digunakan untuk mengkaji kesan teduhan berjalan dengan pelbagai konfigurasi reka bentuk menggunakan [Formula 1](#).

Pelbagai jenis konfigurasi reka bentuk model dicadangkan menggunakan formula nisbah D/L. [Jadual 5](#) menunjukkan konfigurasi reka bentuk model untuk simulasi. [Jadual 6](#) menunjukkan variasi teduhan berjalan menegak pada atrium bumbung kaca yang mencadangkan enam jenis konfigurasi: Jenis A, B, C, D, E dan F. Sementara itu, [Jadual 7](#) menunjukkan variasi teduhan berjalan mendatar pada atrium bumbung kaca dengan enam jenis konfigurasi: Jenis 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Prestasi pencahayaan semula jadi terbaik dengan peratusan faktor pencahayaan tertinggi dalam julat 1.0–3.5 bagi berjalan menegak dan mendatar dikenal pasti dalam Fasa 1.

$$\text{Konstant} = \frac{\text{Jarak antara bilah bingkai (D)}}{\text{Panjang bilah bingkai (L)}} \quad (1)$$



Rajah 1: Dimensi model asas.

Jadual 5: Konfigurasi reka bentuk model untuk simulasi.

Fasa 1	Teduhan Berjalur Menegak Jenis A, B, C, D, E dan F	Menentukan prestasi siang hari terbaik dengan peratusan julat DF yang paling tinggi dalam lingkungan 1.0-3.5 antara 6 jenis konfigurasi reka bentuk teduhan berjalur menegak.
	Teduhan Berjalur Mendatar Jenis 1, 2, 3, 4, 5, dan 6	Menentukan prestasi siang hari terbaik dengan peratusan tertinggi julat DF dalam lingkungan 1.0-3.5 antara 6 jenis konfigurasi reka bentuk teduhan berjalur mendatar.
Fasa 2	Konfigurasi Variasi Gabungan Jenis A1, A2, A3, A4, A5, A6 Jenis B1, B2, B3, B4, B5, B6 Jenis C1, C2, C3, C4, C5, C6 Jenis D1, D2, D3, D4, D5, D6 Jenis E1, E2, E3, E4, E5, E6 Jenis F1, F2, F3, F4, F5, F6	Kedua-dua konfigurasi reka bentuk menegak dan mendatar digabungkan antara satu sama lain untuk menghasilkan 36 jenis variasi reka bentuk dan untuk menentukan prestasi siang hari terbaik dengan peratusan tertinggi julat DF dalam lingkungan 1.0-3.5 antara semua variasi gabungan.

Jadual 6: Variasi teduhan berjalur menegak pada atrium bumbung kaca.

Jenis Berjalur	D (cm)	L (cm)	Konstant
A	150	300	0.5
B	300	300	1.0
C	450	300	1.5
D	600	300	2.0
E	750	300	2.5
F	900	300	3.0

Jadual 7: Variasi teduhan berjalur mendatar pada atrium bumbung kaca.

Jenis Berjalur	D (cm)	L (cm)	Konstant
1	150	150	1.0
2	150	300	0.5
3	150	450	0.33
4	150	600	0.25
5	150	750	0.2
6	150	900	0.17

Dalam Fasa 2, gabungan kedua-dua reka bentuk berjalur menegak dan mendatar menghasilkan 36 jenis variasi reka bentuk bagi menjalankan simulasi faktor pencahayaan yang lebih terperinci. DF merupakan parameter utama yang digunakan untuk mencirikan dan mengukur tahap pencahayaan semula jadi dalam bangunan. DF pada satu titik dalam ruang dalaman ditakrifkan sebagai nisbah (dalam peratus) antara iluminasi dalaman pada titik tersebut dengan iluminasi luaran mendatar global serentak yang disebabkan oleh hemisfera langit dengan taburan luminans tertentu [19]. Pantulan permukaan, transmisi tingkap dan interrefleksi permukaan turut diambil kira dalam pengiraan ini. Langit dalam keadaan mendung digunakan dalam tetapan simulasi ini sebagai senario terburuk untuk mengawal kesan cahaya matahari secara langsung [20,21]. Oleh itu, orientasi model dan variasi masa tidak

mempengaruhi keputusan simulasi DF. Menurut Piawaian MS1525, julat faktor pencahayaan antara 1.0 hingga 3.5 boleh diterima untuk pencahayaan dan kawalan silau seperti yang ditunjukkan dalam **Jadual 8**. Konfigurasi gabungan teduhan berjalur yang menghasilkan prestasi pencahayaan terbaik dengan faktor pencahayaan tertinggi dalam julat 1.0–3.5 dikenal pasti.

Jadual 8: Piawaian faktor pencahayaan berdasarkan MS1525.

DF	Pencahayaan	Silau	Taburan & tenaga yang dihasilkan
> 6.0	Tidak boleh diterima	Tidak boleh diterima	Cahaya semula jadi terlalu kuat.
3.5 – 6.0	Boleh diterima	Tidak selesa	Pencahayaan agak tinggi.
1.0 – 3.5	Boleh diterima	Boleh diterima	Keseimbangan pencahayaan dan haba yang baik.
< 1.0	Tidak ketara	Tidak ketara	Ruang terlalu gelap dan memerlukan pencahayaan buatan.

3. Metodologi

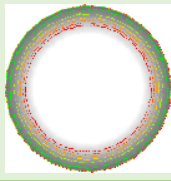
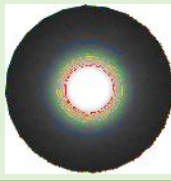
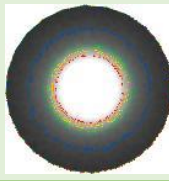
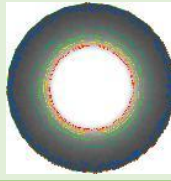
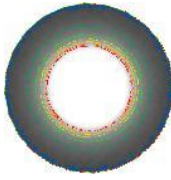
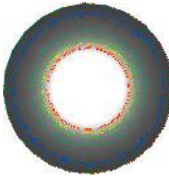
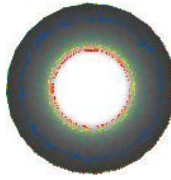
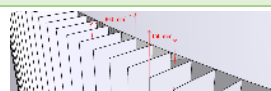
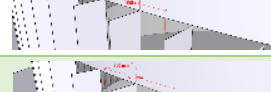
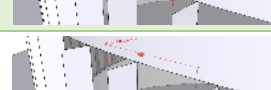
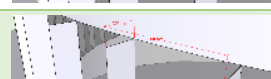
3.1. Simulasi Faktor Pencahayaan

3.1.1. Teduhan Berjalur Menegak pada Atrium Bumbung Kaca

Jadual 9 membentangkan analisis perbandingan faktor pencahayaan siang bagi teduhan berjalur menegak merangkumi model asas dan Jenis A–F. Peratusan kawasan yang berada dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum (1.0–3.5) telah dikira. Model asas yang tidak dilengkapi dengan teduhan berjalur menunjukkan peratusan tertinggi (56.92%) bagi kawasan dengan faktor pencahayaan siang melebihi 3.5. Antara semua konfigurasi yang diuji, Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) mencatatkan peratusan tertinggi (31.21%) bagi kawasan dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum, seterusnya memastikan pencahayaan yang lebih baik dan pengurangan silau. Walau bagaimanapun, penemuan kajian menunjukkan bahawa teduhan berjalur menegak terutamanya mengarahkan pencahayaan siang ke bahagian tengah galeri, manakala kawasan di pinggir masih kurang diterangi. Oleh itu, penambahan teduhan berjalur mendatar diperlukan bagi mengawal dan menyebarkan pencahayaan siang dengan lebih berkesan.

Jadual 10 membandingkan prestasi faktor pencahayaan siang bagi teduhan berjalur mendatar yang diaplikasikan pada atrium bumbung kaca merangkumi model asas dan Jenis 1–6. Hasil kajian menunjukkan bahawa Jenis 3 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 450 \text{ mm}$) mencapai peratusan tertinggi (55.88%) bagi kawasan dalam julat faktor pencahayaan siang yang disyorkan (1.0–3.5). Teduhan berjalur mendatar membantu menyebarkan pencahayaan siang ke bahagian dalam galeri dengan lebih berkesan. Namun, prestasi teduhan berjalur mendatar dalam mengumpul pencahayaan siang adalah lebih rendah berbanding teduhan menegak kerana sebahagian besar pencahayaan jatuh dalam faktor pencahayaan kurang daripada 1. Sebaliknya, teduhan menegak menunjukkan keupayaan mengumpul pencahayaan siang yang lebih baik dan berkesan dalam menerangi galeri. Oleh itu, gabungan teduhan berjalur menegak dan mendatar dicadangkan untuk mengoptimumkan pengagihan pencahayaan siang dan meningkatkan keselesaan visual penghuni.

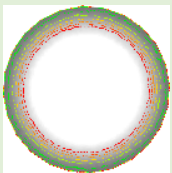
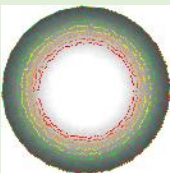
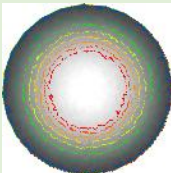
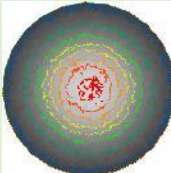
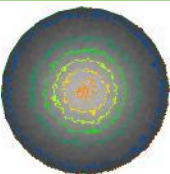
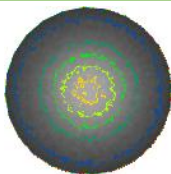
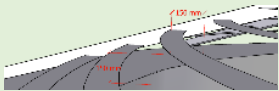
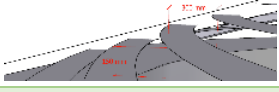
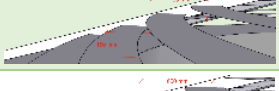
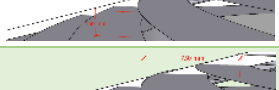
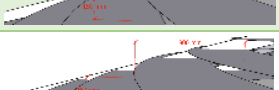
Jadual 9: Perbandingan faktor pencahayaan siang antara model asas dengan teduhan berjalur menegak.

Jenis		Asas		A		B		C	
Rujukan DF% 4.00 3.50 3.00 2.50 2.00 1.50 1.00 0.50									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	-	-	636637	75.92%	540403	64.44%	403261	48.08%
	1 - 3.5	361264	43.08%	135623	16.17%	192275	22.93%	237302	28.30%
	> 3.5	477364	56.92%	66368	7.91%	105950	12.63%	198065	23.62%
Jenis				D		E		F	
Rujukan DF% 4.00 3.50 3.00 2.50 2.00 1.50 1.00 0.50									
				Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1			370887	44.23%	439698	52.43%	494436	58.96%
	1 - 3.5			261772	31.21%	213592	25.47%	178800	21.32%
	> 3.5			205969	24.56%	185338	22.10%	165392	19.72%
				✓					
Jenis		D (cm)		L (cm)		Konstant		Diagram	
Asas		-		-		-			
A		150		300		0.5			
B		300		300		1			
C		450		300		1.5			
D		600		300		2			
E		750		300		2.5			
F		900		300		3			

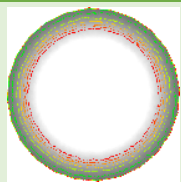
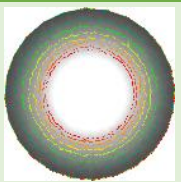
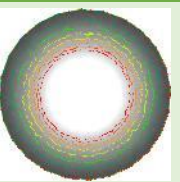
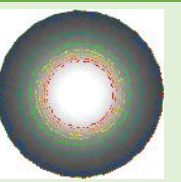
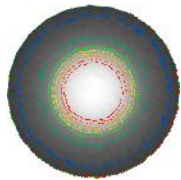
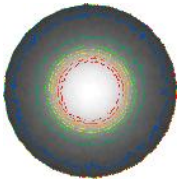
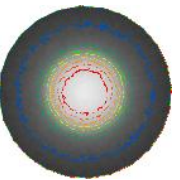
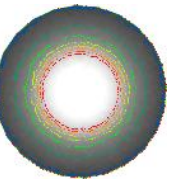
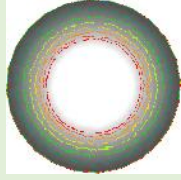
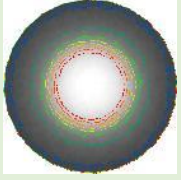
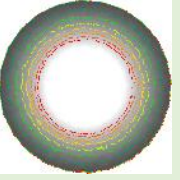
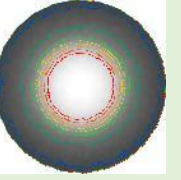
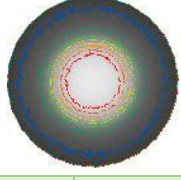
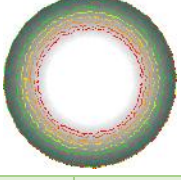
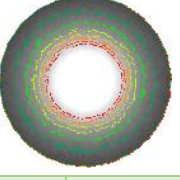
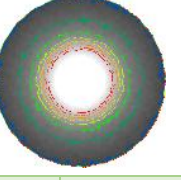
Jadual 11 membentangkan analisis perbandingan faktor pencahayaan siang bagi pelbagai konfigurasi teduhan berjalur. Kajian ini menilai 36 variasi yang menggabungkan enam jenis teduhan berjalur menegak secara sistematik dengan enam jenis teduhan berjalur mendatar. Hasil kajian menunjukkan bahawa konfigurasi Jenis D2 yang menggabungkan teduhan berjalur menegak Jenis D (D = 600 mm, L = 300 mm) dengan teduhan berjalur mendatar Jenis 2 (D = 150 mm, L = 300 mm) mencatatkan peratusan tertinggi (57.37%) bagi kawasan dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum (1.0–3.5). Konfigurasi ini memaksimumkan pencahayaan siang ke bahagian dalam galeri,

sekali gus mengurangi ketergantungan terhadap pencahayaan buatan. Peningkatan prestasi pencahayaan siang yang dicapai melalui konfigurasi ini menyumbang kepada kecekapan tenaga yang lebih baik dengan mengurangkan penggunaan pencahayaan buatan pada waktu siang.

Jadual 10: Perbandingan faktor pencahayaan siang antara model asas dengan teduhan berjalan mendatar.

Jenis		Asas		1		2		3	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	-	-	148440	17.70%	228287	27.22%	353767	42.18%
	1 - 3.5	361264	43.08%	425504	50.74%	441958	52.70%	468605	55.88%
	> 3.5	477364	56.92%	264684	31.56%	168383	20.08%	16256	1.94%
								✓	
Jenis				4		5		6	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1			475853	56.74%	534759	63.77%	794621	94.75%
	1 - 3.5			362775	43.26%	303869	36.23%	44007	5.25%
	> 3.5			-	-	-	-	-	-
Jenis		D (cm)		L (cm)		Konstant		Diagram	
1		150		150		1			
2		150		300		0.5			
3		150		450		0.33			
4		150		600		0.25			
5		150		750		0.2			
6		150		900		0.17			

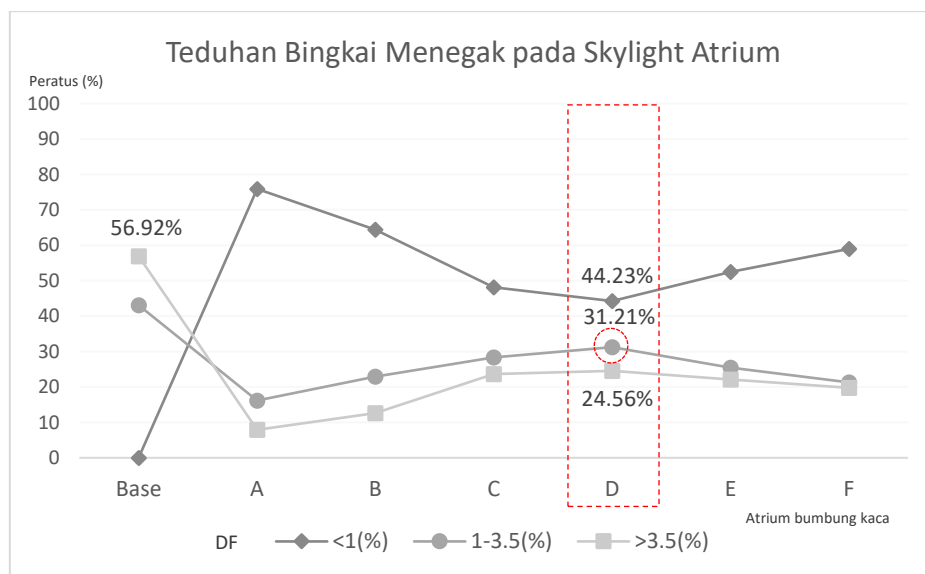
Jadual 11: Perbandingan faktor pencahayaan siang antara model asas dengan konfigurasi gabungan teduhan berjalur.

Jenis		Asas		A1		A2		A3	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	-	-	191904	22.88%	185831	22.16%	376925	44.95%
	1 - 3.5	361264	43.08%	423779	50.53%	426445	50.85%	330662	39.43%
	> 3.5	477364	56.92%	222945	26.58%	226352	26.99%	131041	15.63%
Jenis		A4		A5		A6		B1	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	489505	58.37%	493758	58.88%	571035	68.09%	429273	51.19%
	1 - 3.5	254627	30.36%	250934	29.92%	215803	25.73%	287051	34.23%
	> 3.5	94496	11.27%	93936	11.20%	51790	6.18%	122304	14.58%
Jenis		B2		B3		B4		B5	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	169212	20.18%	164004	19.56%	336859	40.17%	429210	51.18%
	1 - 3.5	423601	50.51%	427419	50.97%	343847	41.00%	289083	34.47%
	> 3.5	245815	29.31%	247205	29.48%	157922	18.83%	120335	14.35%
Jenis		B6		C1		C2		C3	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	505123	60.23%	390766	46.60%	92293	11.01%	98530	11.75%
	1 - 3.5	252901	30.16%	333926	39.82%	443283	52.86%	438859	53.33%
	> 3.5	80604	9.61%	113936	13.59%	303052	36.14%	301239	35.92%

Jenis		C4		C5		C6		D1	
Rujukan									
		Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan	Luas	Peratusan
DF	< 1	261417	31.17%	388936	46.38%	511682	61.01%	187857	22.40%
	1 - 3.5	422248	50.35%	334997	39.95%	243596	29.05%	455343	54.30%
	> 3.5	154963	18.48%	114695	13.68%	83350	9.94%	195428	23.30%

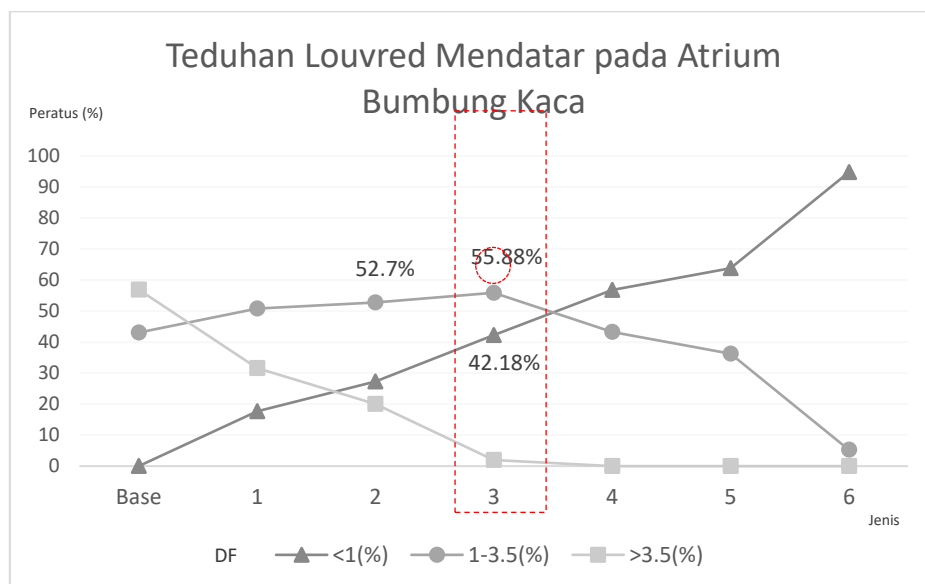
4. Perbincangan

Rajah 2 menunjukkan analisis prestasi pencahayaan siang bagi teduhan berjalan menegak pada atrium bumbung kaca menggunakan graf garisan. Fasa pertama simulasi menunjukkan peningkatan ketara dalam pengagihan pencahayaan siang berbanding dengan model asas. Carta 1 menunjukkan bahawa model asas yang tidak mempunyai teduhan berjalan menegak mempunyai peratusan kawasan tertinggi (56.92%) dengan faktor pencahayaan siang melebihi 3.5 dan menyebabkan pencahayaan berlebihan serta silau yang tidak selesa. Sebaliknya, teduhan Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) menunjukkan prestasi paling berkesan dengan 31.21% kawasan berada dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum (1.0–3.5). Teduhan Jenis D berkesan dalam mengawal pencahayaan berlebihan dan meningkatkan keselesaan visual dalam galeri. Walau bagaimanapun, konfigurasi ini masih mempunyai bahagian yang agak tinggi (44.23%) dengan faktor pencahayaan siang kurang daripada 1. Hal ini disebabkan oleh pencahayaan yang tertumpu di bahagian tengah galeri, sedangkan kawasan pinggiran masih kurang pencahayaan. Oleh itu, gabungan teduhan berjalan mendatar diperlukan untuk menyebarkan pencahayaan siang dengan lebih sekata dan mencapai pencahayaan yang lebih seragam.



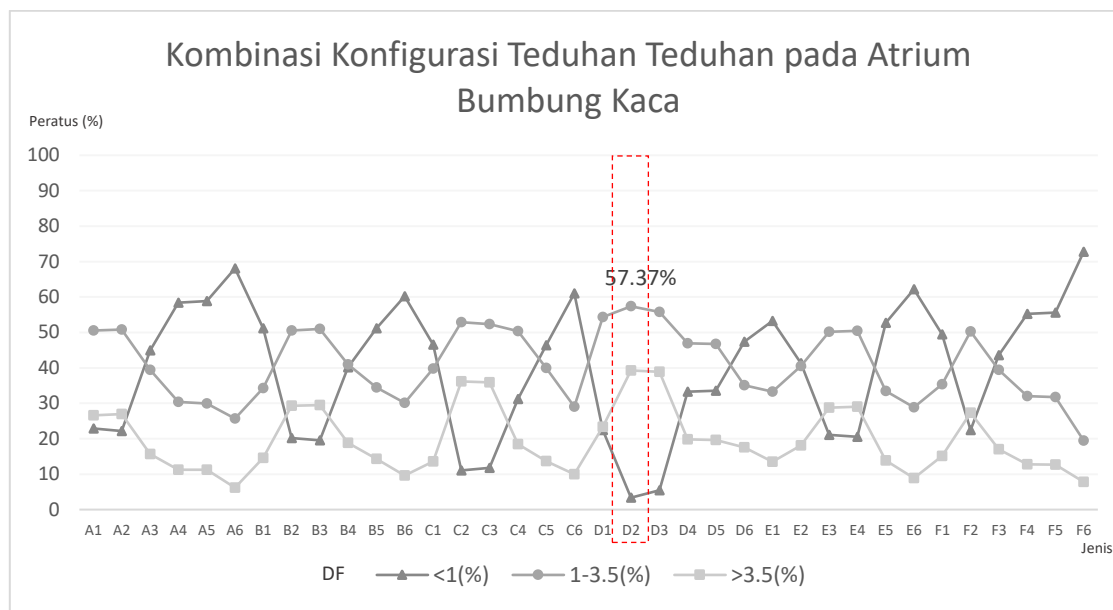
Rajah 2: Analisis teduhan berjalan menegak pada atrium bumbung kaca.

Rajah 3 membentangkan analisis prestasi pencahayaan siang bagi teduhan berjalan mendatar pada atrium bumbung kaca. Hasil simulasi menunjukkan bahawa penggunaan teduhan berjalan mendatar meningkatkan pengagihan pencahayaan siang dengan ketara berbanding dengan model asas. Graf 2 menunjukkan bahawa teduhan Jenis 3 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 450 \text{ mm}$) mencapai peratusan tertinggi (55.88%) bagi kawasan dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum (1.0–3.5). Teduhan Jenis 3 berkesan dalam menyebarkan pencahayaan langsung dari atrium bumbung kaca dan memastikan pencahayaan yang sekata di seluruh ruang galeri. Walau bagaimanapun, sebahagian besar galeri (42.18%) masih mempunyai faktor pencahayaan siang kurang daripada 1 yang disebabkan oleh ketiadaan jendela langit di sekitar atrium. Walaupun teduhan berjalan mendatar berkesan dalam menyebarkan pencahayaan siang, prestasinya akan lebih optimum apabila digabungkan dengan teduhan berjalan menegak. Gabungan kedua-dua jenis teduhan ini dapat mengoptimumkan penembusan dan penyebaran pencahayaan siang ke seluruh ruang galeri, sekali gus mengukuhkan keperluan strategi teduhan berjalan yang digabungkan.



Rajah 3: Analisis teduhan berjalan mendatar pada atrium bumbung kaca.

Rajah 4 menggambarkan analisis pelbagai konfigurasi teduhan berjalan yang digunakan pada atrium bumbung kaca. Fasa kedua simulasi yang menggabungkan teduhan berjalan menegak dan mendatar menunjukkan prestasi pencahayaan siang yang lebih baik berbanding dengan prestasi pencahayaan fasa pertama yang hanya menggunakan satu jenis teduhan. Graf 3 menunjukkan bahawa teduhan Jenis D2 yang menggabungkan teduhan berjalan menegak Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) dengan teduhan berjalan mendatar Jenis 2 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) mencapai peratusan tertinggi (57.37%) bagi kawasan dalam julat faktor pencahayaan siang yang optimum (1.0–3.5). Prestasi ini lebih baik berbanding dengan prestasi teduhan Jenis D (31.21%) dan Jenis 3 (55.88%) apabila digunakan secara berasingan. Walaupun teduhan Jenis 2 hanya mencapai 52.70% kawasan dalam julat optimum semasa simulasi fasa pertama, apabila digabungkan dengan teduhan menegak Jenis D, prestasi pencahayaan siang meningkat berbanding dengan prestasi konfigurasi lain. Penemuan ini mencadangkan bahawa gabungan teduhan berjalan menegak dan mendatar dapat meningkatkan keseragaman pencahayaan siang, mengurangkan silau dan mengoptimumkan penggunaan pencahayaan siang dalam galeri menjadikannya strategi paling berkesan untuk prestasi pencahayaan siang.



Rajah 4: Analisis variasi konfigurasi teduhan berjalan pada atrium bumbung kaca.

5. Kesimpulan

Negara-negara dengan iklim tropika seperti Malaysia terdedah kepada cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun. Oleh itu, strategi reka bentuk seni bina pasif sering menggabungkan peranti peneduhan untuk mengurangkan kenaikan haba cahaya matahari sambil mengoptimumkan pengumpulan cahaya siang. Pengumpulan cahaya siang yang berkesan mengurangkan kebergantungan kepada pencahayaan tiruan pada waktu siang, sekali gus menurunkan penggunaan tenaga bangunan secara keseluruhan. Jendela langit atrium merupakan strategi reka bentuk utama untuk meningkatkan pencahayaan semula jadi di ruang dalaman yang lebih dalam dan gelap yang jauh dari bukaan tingkap. Walau bagaimanapun, penembusan cahaya siang yang berlebihan melalui jendela langit atrium boleh menyebabkan silau dan ketidakselesaan kepada penghuni. Untuk menangani isu ini, kajian ini meneroka penggunaan sistem peneduhan berjalan menegak dan mendatar pada jendela langit atrium di galeri pameran dalam iklim tropika. Kajian ini menggunakan perisian VELUX Daylight Visualizer yang telah disahkan sebagai alat yang berkesan untuk menilai prestasi cahaya siang dengan tepat semasa fasa reka bentuk bangunan.

Dapatan kajian ini mencadangkan konfigurasi reka bentuk yang optimum untuk teduhan berjalan menegak dan mendatar dipasangkan pada jendela langit atrium. Konfigurasi-konfigurasi ini berfungsi sebagai panduan reka bentuk yang berharga untuk arkitek dan pereka bentuk dalam pelbagai keadaan ruang dan iklim. Simulasi Fasa 1 mengenal pasti konfigurasi yang paling berkesan untuk setiap jenis peneduhan. Apabila hanya peneduhan berjalan menegak dilaksanakan di sekitar atrium bumbung kaca, teduhan Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) disyorkan kerana 31.21% kawasan mencapai faktor cahaya siang yang boleh diterima ke atas. Jika hanya peneduhan berjalan mendatar diterapkan pada atrium bumbung kaca, teduhan Jenis 3 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 450 \text{ mm}$) adalah yang paling berkesan apabila 55.88% kawasan berada dalam julat faktor cahaya siang yang boleh diterima. Walau bagaimanapun, apabila kedua-dua berjalan menegak dan mendatar digabungkan, teduhan Jenis D2—yang menggabungkan berjalan menegak Jenis D ($D = 600 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$) dengan berjalan mendatar Jenis 2 ($D = 150 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$)—menunjukkan prestasi cahaya siang yang lebih baik, dengan 57.37% kawasan berada dalam julat faktor cahaya siang yang optimum. Konfigurasi-konfigurasi ini memberikan pencahayaan semula jadi yang optimum.

Kajian ini tertakluk pada beberapa had. Penyelidikan ini bergantung pada perisian simulasi berasaskan komputer untuk menghasilkan keputusan yang memerlukan pengesahan lanjut melalui kajian model skala fizikal bagi meningkatkan ketepatan hasil kajian. Walau bagaimanapun, kekangan fizikal seperti ketersediaan tapak, had masa dan ketidakpastian keadaan cuaca sebenar, orientasi tapak dan sifat kaca jendela langit memperkenalkan pemboleh ubah yang tidak terkawal. Selain itu, ketinggian atrium bumbung kaca yang mempengaruhi prestasi cahaya siang dikekalkan sebagai pemboleh ubah tetap pada 6 meter dalam kajian ini. Penyelidikan masa depan boleh meneroka kesan perubahan ketinggian atrium bumbung kaca terhadap prestasi pengumpulan cahaya siang.

Selain itu, susun atur dalaman dan pengaturan perabot dalam ruang galeri mempengaruhi taburan cahaya siang. Kajian ini tidak memasukkan susun atur perabot dalam simulasi yang mengehaskan kebolehannya untuk mewakili keadaan dunia sebenar sepenuhnya. Penyelidikan pada masa depan harus mengintegrasikan perabot dan konfigurasi ruang untuk mendapatkan keputusan yang lebih komprehensif. Teduhan berjalur juga boleh direka dalam pelbagai corak dan ketebalan yang tidak diterokai secara meluas dalam kajian ini. Penyelidikan lanjut mengenai konfigurasi berjalur yang berbeza adalah disyorkan untuk mengoptimumkan prestasi cahaya siang dan meningkatkan keberkesanan sistem peneduhan atrium bumbung kaca.

Pengenalan ORCID

Christopher Heng Yii  <https://orcid.org/0000-0002-6582-5703>

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para pengarang menyatakan bahawa tiada konflik kepentingan dengan mana-mana pihak lain dalam penerbitan karya ini.

Rujukan

- [1] Z. Ke, H. Zhang, X. Jia, J. Yan, X. Lv, H. Yu, N. Gao, W. Zeng, Y. Liu, and N.H. Wong, Research on Energy Efficiency and Decarbonization Pathway of Nearly Zero Energy Buildings Based on System Dynamic Simulation. *Developments in the Built Environment* 17 (2024) 100310. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100310>
- [2] F.S. Hafez, B. Sa'di, M. Safa-Gamal, Y.H. Taufiq-Yap, M. Alrifay, M. Seyedmahmoudian, A. Stojcevski, B. Horan, and S. Mekhilef, Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews* 45 (2023) 101013. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>
- [3] J.M. Loewen, M.D. Levine, and J.F. Busch, ASEAN-USAID Buildings Energy Conservation Project. Final report, Volume 3: Audits, Berkeley, CA (United States), 1992. <https://doi.org/10.2172/10167947>.
- [4] S. Murtyas, R. Qian, T. Matsuo, N.W. Tuck, S.A. Zaki, and A. Hagishima, Thermal Comfort in a Two-Storey Malaysian Terrace House: Are Passive Cooling Methods Sufficient in Present and Future Climates?, *Journal of Building Engineering* 96 (2024) 110412. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110412>
- [5] J. Mardaljevic, Daylight, Indoor Illumination, and Human Behavior, in: *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer New York, New York, NY, 2012: pp. 2804–2846. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_456
- [6] C.L. Robbins, *Daylighting: design and analysis*, U.S.A.: Van Nostrand Reinhold, 1986.

- [7] A.A. Jamaludin, H. Hussein, N. Keumala, and A.R. Mohd Ariffin, The Dynamics of Daylighting at a Residential College Building with the Internal Courtyard Arrangement. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR* 9 (2015) 148. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i3.588>.
- [8] Bushra Obeidat, Mohammed Alshayeb, and Afnan Barr, Comparing the Effects of Daylight Illuminance and Solar Radiation on Students' Spatial Behaviour in Campus' Outdoor Spaces, in: *Proceedings of the 33rd PLEA International Conference*, Edinburgh, UK, 2017: pp. 3325–3331.
- [9] G. Datta, Effect of Fixed Horizontal Louver Shading Devices on Thermal Performance of Building by TRNSYS Simulation *Renewable Energy* 23 (2001) 497–507. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00131-2)
- [10] Jeong Tai Kim, and G. Kim, Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance. *Indoor and Built Environment* 19 (2010) 65–72. <https://doi.org/10.1177/1420326X09358001>
- [11] J. Lee, M. Alshayeb, and J.D. Chang, A Study of Shading Device Configuration on the Natural Ventilation Efficiency and Energy Performance of a Double Skin Façade. *Procedia Engineering* 118 (2015) 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.432>
- [12] M. Mahdavinejad, and S. Mohammadi, Synthesis and Optimization of Louver-Driving Mechanism for Innovative Daylighting System in Deep-Plan Building. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication* 6 (2016) 174–187. <https://doi.org/10.7456/1060ASE/018>
- [13] F.F. Hernández, J.M. Cejudo López, J.M. Peña Suárez, M.C. González Muriano, and S.C. Rueda, Effects of Louvers Shading Devices on Visual Comfort and Energy Demand of an Office Building. A Case of Study. *Energy Procedia* 140 (2017) 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.136>
- [14] K. Almutairi, S. Algarni, T. Alqahtani, N. Bharath Kumar, and D. Prayogo, The Optimum Model of Horizontal Canopies on Reducing Building Energy Consumption. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 53 (2022) 102519. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102519>
- [15] F. De Luca, A. Sepúlveda, and T. Varjas, Multi-Performance Optimization of Static Shading Devices for Glare, Daylight, View and Energy Consideration. *Building and Environment* 217 (2022) 109110. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109110>
- [16] Y. Xue, and W. Liu, A Study on the Optimization of Atrium Daylight and Energy Performance through Skylight and Shading Design in Commercial Buildings in Cold Zones. *Buildings* 13 (2023) 228. <https://doi.org/10.3390/buildings13010228>
- [17] Z. Sahputra, E. Meutia, M.H.A. Edytia, A. Frannata, P. Shafwa, D. Octaviana, and F. Amelia, Daylight Strategies in Learning Space in Covid-19 Pandemic, in: 2022. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220703.023>
- [18] D. Seftyarizki, A. Prihatiningrum, and A. Ramawangsa, Thermal and Visual Comfort Analysis Using CBE Tools And Velux Simulation of Classroom in R.21 in Gedung Kuliah Bersama V University of Bengkulu. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 738 (2021) 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012007>
- [19] M. Pinto, Ricardo M. S. F. Almeida, P. G. Pinho, and L. T. Lemos, Daylighting in classrooms - the daylight factor as a performance criterion, in: *ICEH 2014 - 3rd International Congress on Environmental Health*, 2014.
- [20] H.F.O. Müller, Daylighting, in: *Sustainability, Energy and Architecture*, Elsevier, 2013: pp. 227–255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397269-9.00009-8>
- [21] Yii Sern Christopher Heng, Farhana Mohd Razif, Sharifah Fairuz Syed Fadzil, Louis Ting Kwang Liou, and Boon Jia Jun, Daylighting Performance of Integrated Venetian Blinds with Horizontal Light Pipe System for Deep Plan High-Rise Office in Tropical Climate. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* 28 (2022) 144–153. <https://doi.org/10.37934/araset.28.3.1441530>